

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of

Inventors: P. ALMERAS

Application No.: New Patent Application

Filed: July 29, 2003

For: SYSTEM FOR CONTROLLING THE TORSIONAL STABILITY OF  
THE DRIVETRAIN OF A MACHINE, IN PARTICULAR OF A  
HELICOPTER

CLAIM FOR PRIORITY

Honorable Commissioner of  
Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231

Sir:

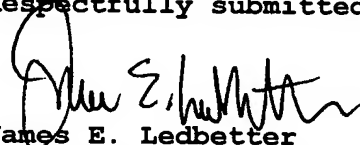
The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified application and the priority provided in 35 USC 119 is hereby claimed:

French Appln. No. 02 10563, filed August 26, 2002.

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 USC 119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

  
James E. Ledbetter  
Registration No. 28,732

Date: July 29, 2003

JEL/apg  
Attorney Docket No. L7307.03154  
STEVENS, DAVIS, MILLER & MOSHER, L.L.P.  
1615 L Street, NW, Suite 850  
P.O. Box 34387  
Washington, DC 20043-4387  
Telephone: (202) 785-0100  
Facsimile: (202) 408-5200





# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 24 JUIN 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Planche', is written over a horizontal line.

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE page 1/2



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 @ W / 010801

<b>REMISE DES PIÈCES</b> <b>DATE</b> 26 AOUT 2002 <b>LIEU</b> 75 INPI PARIS  <b>N° D'ENREGISTREMENT</b> 0210563 <b>NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI</b> <b>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI</b> 26 AOUT 2002		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b>  CABINET BONNÉTAT  29, Rue de Saint-Pétersbourg 75008 PARIS	
<b>V s r é f é r e n c e s p o u r c e d o s s i e r</b> <i>(facultatif)</i> EU-109			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b>		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N° _____ Date _____ N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____	
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b>  Système pour contrôler la stabilité en torsion de la chaîne cinématique d'un appareil, en particulier d'un hélicoptère.			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		EUROCOPTER	
Prénoms			
Forme juridique		S.A.S.	
N° SIREN		3 5 2 3 8 3 7 1 5	
Code APE-NAF			
Domicile ou siège	Rue	Aéroport International Marseille-Provence	
	Code postal et ville	1 3 7 2 5 MARIGNANE Cedex	
	Pays	FRANCE	
Nationalité		française	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		N° de télécopie <i>(facultatif)</i>	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

Remplir impérativement la 2<sup>ème</sup> page



# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE  
page 2/2

**BR2**

REMISE DES PIÈCES DATE <b>26 AOUT 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <b>0210563</b>		Réservé à l'INPI	DB 540 @ W / 010801
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		EU-109	
<b>6 MANDATAIRE</b> <i>(s'il y a lieu)</i>			
Nom		HAUER	
Prénom		Bernard	
Cabinet ou Société		CABINET BONNÉTAT	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	29, Rue de Saint-Petersbourg	
	Code postal et ville	17 5 0 0 8   PARIS	
	Pays	FRANCE	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 42 93 66 65	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 42 93 69 51	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
<b>7 INVENTEUR (S)</b>		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance <i>(en deux versements)</i>		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requis pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention <i>(joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence)</i> : AG <input type="text"/>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) Mandataire "CPI brevet" : Bernard Hauer 98-0504 (B)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI 	

La présente invention concerne un système pour contrôler la stabilité en torsion de la chaîne cinématique d'un appareil, en particulier d'un aéronef.

Bien que non exclusivement, la présente invention s'applique plus particulièrement à un hélicoptère, dont la chaîne cinématique comporte, de façon connue, au moins :

- un rotor principal de sustentation et d'avance ;
- un rotor de queue anticouple ; et
- des boîtes de transmission et des arbres associés,

ladite chaîne cinématique étant entraînée par au moins un moteur fournissant l'énergie motrice nécessaire à l'entraînement desdits rotors principal et de queue. L'ensemble composé de la chaîne cinématique et du (ou des) moteur(s) constitue la chaîne de puissance de l'hélicoptère.

On sait que, dans certaines conditions de vol de l'hélicoptère, les modes propres de sa chaîne cinématique peuvent se coupler à ceux du fuselage, notamment par la variation du régime rotor et par le mouvement de lacet du fuselage, de manière à engendrer des phénomènes de résonance, susceptibles de provoquer des vibrations importantes de la chaîne cinématique. De telles vibrations sont susceptibles de rendre l'ensemble ainsi couplé instable ou difficilement pilotable. De façon connue, ledit couplage peut notamment être provoqué par la régulation du moteur ou par le manque d'amortissement au niveau du rotor, ou même par l'influence du système de pilotage, comme le pilote automatique ou, le cas échéant, les commandes de vol électriques ou optiques de l'hélicoptère.

On sait en outre que les vibrations les plus gênantes pour la stabilisation de la chaîne cinématique et pour le pilotage de l'hélicoptère sont

dues au premier mode de torsion de la chaîne cinématique, mode pour lequel le mouvement des pales du rotor principal est en opposition de phase avec celui de la boîte de transmission principale de la chaîne cinématique.

On notera par ailleurs que l'effet des vibrations gênantes précitées est généralement plus important lorsque les rotors de l'hélicoptère sont munis d'adaptateurs de traînée dits "interpales", correspondant à des amortisseurs de pales montés, non pas à chaque fois entre une pale et le mât du rotor, mais directement entre deux pales adjacentes. En effet, dans ce cas :

- la fréquence du premier mode de torsion de la chaîne cinématique est située près des fréquences de pilotage, pour lesquelles la régulation du moteur présente des gains importants ; et
- le rotor manque d'amortissement pour le mouvement des pales en phase, puisque l'adaptateur de traînée agit dans ce cas uniquement sur le mouvement différentiel des pales adjacentes.

Pour remédier à ces inconvénients, une solution connue prévoit de modifier le système de régulation du ou des moteurs de l'hélicoptère de manière à diminuer le gain de la régulation de ce ou ces moteurs.

Pour ce faire, ledit système de régulation comporte :

- un premier moyen pour agir sur ledit régime, en fonction d'ordres de commande ;
- un deuxième moyen pour mesurer un régime NTL correspondant au régime de rotation de la turbine libre dudit moteur ;
- un dispositif de correction ou de filtrage pour corriger ou filtrer ledit régime mesuré NTL en une valeur filtrée NTLfiltrée ;
- un troisième moyen pour déterminer une valeur de consigne NTLcons correspondant à la valeur de consigne du régime de rotation de la turbine libre du moteur ; et



- des moyens de calcul pour calculer automatiquement, à partir de ladite valeur de consigne NTLcons et de ladite valeur filtrée NTLfiltrée, des ordres de commande qui sont appliqués automatiquement audit premier moyen.

5           Ledit dispositif de filtrage réalise un filtrage passe-bas usuel, qui a pour objet d'atténuer le gain de régulation pour améliorer la stabilité. On sait que, par une telle atténuation, la courbe de réponse est globalement translatée vers le bas (c'est-à-dire réduite en valeur), mais elle conserve sa forme initiale.

10           Cette solution n'est toutefois pas satisfaisante, en particulier pour des hélicoptères de gros tonnage, puisque, lors du vol, des gains élevés de la régulation du moteur sont souvent nécessaires, notamment pour obtenir de bonnes reprises.

15           Un filtrage passe-bas réduit la bande passante du système. Si sa fréquence de coupure est trop basse, il aura pour effet (néfaste) de réduire les reprises du moteur, c'est-à-dire sa capacité à répondre à une évolution rapide de la valeur de consigne NTLcons.

          En outre, un filtrage trop faible (atténuation insuffisante du gain) risque de provoquer une divergence de la sortie.

20           La présente invention a pour objet de remédier à ces inconvénients. Elle concerne un système permettant de contrôler la stabilité en torsion de la chaîne cinématique d'un appareil, en particulier d'un hélicoptère, sans atténuer le gain.

25           A cet effet, selon l'invention, ledit système permettant de réguler le régime d'au moins un moteur de ladite chaîne cinématique et comportant au moins :

- un premier moyen pour agir sur ledit régime, en fonction d'ordres de commande ;

- un deuxième moyen pour mesurer un régime NTL correspondant au régime de rotation de la turbine libre dudit moteur ;
- un dispositif de correction pour corriger ledit régime mesuré NTL en une valeur corrigée  $NTL_{corr}$  ;
- 5    – un troisième moyen pour déterminer une valeur de consigne  $NTL_{cons}$  correspondant à la valeur de consigne du régime de rotation de la turbine libre du moteur ; et
- une unité de calcul pour calculer automatiquement, à partir de ladite valeur de consigne  $NTL_{cons}$  et de ladite valeur corrigée  $NTL_{corr}$ , les
- 10   ordres de commande qui sont appliqués automatiquement audit premier moyen,

est remarquable en ce que ledit dispositif de correction met en œuvre une loi de correction qui corrige ledit régime mesuré NTL pour obtenir une valeur corrigée  $NTL_{corr}$  présentant, au moins dans un domaine de fréquences

15   situé autour au moins du premier mode de torsion de ladite chaîne cinématique, le même module que ladite valeur de consigne  $NTL_{cons}$  et une phase qui est opposée à la phase de ladite valeur de consigne  $NTL_{cons}$  de manière à amortir au moins ledit premier mode de torsion de la chaîne cinématique.

20       Cette loi de correction, contrairement au filtrage du régime mesuré NTL mis en œuvre dans une régulation usuelle, n'a pas pour objectif, ni pour effet d'atténuer le gain pour améliorer la stabilité. Ladite loi de correction agit en effet essentiellement sur la phase, dans le domaine de fréquences où cela est nécessaire, ce qui permet de préserver le gain. Ainsi,

25   cette loi de correction procure un double effet avantageux :

- à basse fréquence, sur les reprises du ou des moteurs (effet usuel) ; et
- à la fréquence du premier mode de torsion de la chaîne cinématique, sur l'amortissement de ce dernier (effet nouveau ajouté).

Il convient à cet effet de bien distinguer les notions d'atténuation (mise en œuvre par le dispositif de filtrage usuel précité) et d'amortissement (obtenu grâce à la présente invention). Lors d'une atténuation du gain, la courbe de réponse est globalement translatée vers le bas, mais conserve sa forme initiale. Un pic de résonance atténué présente donc une valeur absolue plus basse qu'initialement, mais reste toujours aussi prononcé par rapport à l'ensemble de la courbe de réponse. En revanche, lors d'un amortissement, un pic de réponse amorti est réduit (ou lissé) par rapport au reste de la courbe de réponse qui conserve son niveau initial (c'est-à-dire présente un gain inchangé).

On notera en outre que l'état de la technique est exclusivement basé sur le filtrage des modes de telle sorte que les règlements officiels, à travers l'ARP 704 ("Aerospace Recommended Practice"), précisent des critères de stabilité qui, de fait, imposent des solutions basées sur le filtrage. En effet, l'ARP 704 demande d'atténuer de -6dB les pics de résonance correspondant aux modes de torsion, en plus des critères habituels de marges de gain et de phase.

Grâce à la présente invention, on obtient au moins les avantages suivants :

- l'amortissement naturel (c'est-à-dire hors asservissement) du ou des premiers modes de torsion de la chaîne cinématique, est nettement augmenté. La sensibilité de ces modes est complètement réduite ;
- l'absence de filtrage engendre un apport relatif de gain sur les modes de torsion, donc une avance de phase (par rapport à une technique de filtrage usuelle) ;
- les deux avantages précités combinés permettent de récupérer des marges de stabilité très importantes et donc d'augmenter les gains de régulation pour améliorer nettement les reprises du ou des moteurs. De

même, l'absence de tout retard de phase dans l'asservissement améliore le pilotage du ou des moteurs ;

- la bande passante de la régulation n'est plus coupée. Elle est donc nettement augmentée par rapport à la technique usuelle ; et
- 5 – le système conforme à l'invention est simple (à réaliser et à mettre en œuvre) et peu coûteux.

De façon avantageuse, ledit dispositif de correction corrige ledit régime mesuré NTL pour obtenir une valeur corrigée NTLcorr qui présente le même module que ladite valeur de consigne NTLcons et une phase qui  
10 est opposée à la phase de ladite valeur de consigne NTLcons, dans des domaines de fréquences situés autour d'un nombre  $\underline{n}$  de modes de torsion de ladite chaîne cinématique, de préférence les  $\underline{n}$  premiers modes de torsions,  $\underline{n}$  étant un entier supérieur à 1.

Dans un mode de réalisation préféré, ladite unité de calcul et ledit  
15 dispositif de correction sont incorporés dans un seul et même calculateur numérique, de préférence de type FADEC ("Full Authority Digital Engine Computer"). Dans ce cas, il suffit, pour mettre en œuvre la présente invention, de modifier la programmation dudit calculateur, c'est-à-dire du système de régulation existant, de sorte que la mise en œuvre de la pré-  
20 sente invention présente alors un coût très réduit.

Dans un autre mode de réalisation :

- ledit dispositif de correction est un calculateur indépendant ; ou
- ledit dispositif de correction est un moyen au moins partiellement mécanique, par exemple de type hydromécanique ou électromécanique.

25 La présente invention concerne également un procédé pour déterminer la loi de correction mise en œuvre par le dispositif de correction du système précité et conforme à l'invention.

Pour ce faire, selon l'invention, on réalise successivement les opérations suivantes :

- 5 a) on élabore théoriquement un modèle de simulation de la chaîne de puissance (composé de la chaîne cinématique et d'au moins un moteur de l'appareil), permettant de calculer une première fonction de transfert entre le régime de rotation de la turbine libre, qui est filtré à l'aide d'un filtre prédéterminé, et ladite valeur de consigne NTLcons (cette première fonction de transfert en boucle fermée résultant de la mise en parallèle des fonctions de transfert respectives de la chaîne de puissance et du filtre) ;
- 10 b) on réalise un fonctionnement de ladite chaîne de puissance, pendant lequel on mesure des paramètres permettant de recalibrer ladite première fonction de transfert ;
- c) on détermine une fonction de transfert en boucle ouverte, en mettant en série la fonction de transfert ainsi recalibrée de ladite chaîne de puissance et la fonction de transfert dudit filtre ;
- 15 d) on soustrait la fonction de transfert dudit filtre à ladite fonction de transfert en boucle ouverte ; et
- e) on élabore un correcteur en remplacement dudit filtre pour obtenir une fonction de transfert de correction qui est telle que le transfert global obtenu par la mise en série de cette dernière et de la fonction de transfert de la chaîne de puissance représente ladite loi de correction.
- 20

De façon avantageuse, on réalise de plus sur ladite loi de correction une augmentation des gains.

Les figures du dessin annexé feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée. Sur ces figures, des références identiques désignent des éléments semblables.

25

La figure 1 est le schéma synoptique d'un système de contrôle conforme à l'invention.

La figure 2 illustre schématiquement un hélicoptère auquel on applique un système de contrôle conforme à l'invention.

Le système 1 conforme à l'invention et représenté schématiquement sur la figure 1 est destiné à contrôler la stabilité en torsion de la chaîne cinématique 2 d'un appareil, en particulier d'un hélicoptère H.

De façon connue, la chaîne cinématique 2 d'un hélicoptère H comporte au moins les éléments suivants, comme représenté sur la figure 2 :

- un rotor principal 3 de sustentation et d'avance de l'hélicoptère H, muni de pales 3A ; et
- un rotor de queue 4 destiné à combattre le couple dudit rotor principal 3, qui est muni de pales 4A ; et
- des boîtes de transmission, dont on a uniquement représenté (de façon schématique) la boîte de transmission principale 6 sur la figure 2, et des arbres associés non représentés.

Ledit système 1 est destiné à réguler le régime du (ou des) moteur(s) 5 fournissant l'énergie motrice nécessaire à l'entraînement desdits rotors 3 et 4 et comporte à cet effet :

- un premier moyen 7 pour agir sur ledit régime, en fonction d'ordres de commande ;
- un deuxième moyen 8 pour mesurer un régime NTL correspondant au régime de rotation de la turbine libre dudit moteur 5. Ce deuxième moyen 8 peut, par exemple, mesurer le régime rotor NR et calculer le régime NTL à partir de l'expression  $NTL = kNR$ , k étant un coefficient connu, puisque le rotor est lié mécaniquement à la turbine libre ;
- un dispositif de correction 9 qui est relié par une liaison 10 audit deuxième moyen 8 pour corriger ledit régime mesuré NTL en une valeur corrigée  $NTL_{corr}$  ;
- un troisième moyen 11 pour déterminer une valeur de consigne  $NTL_{cons}$  correspondant à la valeur de consigne du régime de rotation de la turbine libre du moteur 5 ; et

- une unité de calcul 12 qui est reliée par des liaisons 13 et 14 respectivement audit dispositif de correction 9 et audit troisième moyen 11 pour calculer automatiquement, à partir de ladite valeur de consigne NTLcons et de ladite valeur corrigée NTLcorr, des ordres de commande qui sont appliqués automatiquement audit premier moyen 7.

Lesdits moyens 7, 8 et 11 sont des moyens usuels connus.

Dans un mode de réalisation préféré :

- ledit premier moyen 7 comporte au moins un doseur, de type usuel, pour doser, comme illustré schématiquement par une liaison 15 en traits mixtes, le carburant qui est fourni au moteur 5, en fonction d'ordres de commande reçus par une liaison 16 ;
- ladite unité de calcul 12 calcule des ordres de commande permettant d'asservir (connaissant le régime NG qui correspond au régime du générateur de gaz du moteur 5 et qui est mesuré par un moyen usuel 17 relié par une liaison 18 à l'unité de calcul 12) le régime du générateur de gaz dudit moteur 5 sur une valeur de consigne NGcons dudit régime du générateur de gaz, qui dépend de ladite valeur corrigée NTLcorr et de ladite valeur de consigne NTLcons ;
- ladite unité de calcul 12 comporte, à cet effet, un moyen de calcul 19 qui détermine ladite valeur de consigne NGcons du régime du générateur de gaz du moteur 5, et un moyen de calcul 20 qui détermine les ordres de commande du doseur 7, à partir de ladite valeur de consigne NGcons qui est reçue dudit moyen de calcul 19 par une liaison 21.

Selon l'invention, ledit dispositif de correction 9 met en œuvre une loi de correction qui corrige ledit régime mesuré NTL pour obtenir une valeur corrigée NTLcorr présentant, au moins dans un domaine de fréquences situé autour au moins du premier mode de torsion de ladite chaîne cinématique 2 (mais de préférence dans une pluralité de  $n$  domaines de fréquences situés autour d'un nombre  $n$  de modes de torsion de ladite chaîne

cinématique 2,  $n$  étant un entier supérieur à 1), le même module que ladite valeur de consigne NTLcons et une phase qui est opposée à la phase de ladite valeur de consigne NTLcons de manière à amortir au moins ledit premier mode de torsion de la chaîne cinématique 2.

5           Ainsi, grâce à la présente invention, on obtient au moins les avantages suivants :

- l'amortissement naturel (c'est-à-dire hors asservissement) du ou des premiers modes de torsion de la chaîne cinématique, est nettement augmenté. La sensibilité de ces modes est complètement réduite ;
- 10   – l'absence de filtrage engendre un apport relatif de gain sur les modes de torsion, donc une avance de phase (par rapport à une technique de filtrage usuelle) ;
- les deux avantages précédents combinés permettent de récupérer des marges de stabilité très importantes et donc d'augmenter les gains de
- 15   régulation pour améliorer nettement les reprises du ou des moteurs 5. De même, l'absence de tout retard de phase dans l'asservissement améliore le pilotage du ou des moteurs 5 ;
- la bande passante de la régulation n'est plus coupée, et s'en trouve nettement augmentée par rapport à la technique usuelle ; et
- 20   – le système 1 conforme à l'invention est simple et peu coûteux.

On notera que la loi de correction conforme à la présente invention, contrairement au filtrage du régime mesuré NTL mis en œuvre dans une régulation usuelle, n'a pas pour objectif, ni pour effet d'atténuer le gain pour améliorer la stabilité. Ladite loi de correction agit en effet essen-

25   tiellement sur la phase, dans le domaine de fréquences où cela est nécessaire (à proximité des modes de torsion de la chaîne cinématique 2), ce qui permet de préserver le gain. Ainsi, cette loi de correction procure un double effet avantageux, à savoir :



- à basse fréquence, sur les reprises du ou des moteurs 5 (effet usuel) ;  
et
- au moins à la fréquence du premier mode de torsion de la chaîne cinématique 2, sur l'amortissement de ce dernier (effet nouveau ajouté).

5            Dans un mode de réalisation préféré, ladite unité de calcul 12 et ledit dispositif de correction 9 sont incorporés dans un seul et même calculateur numérique, de préférence de type FADEC ("Full Authority Digital Engine Computer"). Dans ce cas, il suffit, pour mettre en œuvre la présente invention, de modifier la programmation dudit calculateur FADEC  
10 existant de sorte que la mise en œuvre de la présente invention présente un coût très réduit.

Dans un autre mode de réalisation :

- ledit dispositif de correction 9 est un calculateur indépendant ; ou
- ledit dispositif de correction 9 est un moyen au moins partiellement mécanique, par exemple de type hydromécanique ou électromécanique.

15            Par ailleurs, selon la présente invention, pour déterminer la loi de correction mise en œuvre par le dispositif de correction 9 du système 1, on réalise successivement au moins les opérations suivantes :

- a) on élabore théoriquement un modèle de simulation de la chaîne de  
20 puissance [comportant ladite chaîne cinématique 2 et le (ou les) moteur(s) 5], permettant de calculer une première fonction de transfert HA entre le régime de rotation de la turbine libre, qui est filtré à l'aide d'un filtre prédéterminé, et ladite valeur de consigne NTLcons (cette première fonction de transfert en boucle fermée résultant de la mise en  
25 parallèle des fonctions de transfert respectives de la chaîne de puissance et du filtre) ;
- b) on réalise un fonctionnement de ladite chaîne de puissance, pendant lequel on mesure des paramètres permettant de recalibrer ladite première fonction de transfert ;

- c) on détermine une fonction de transfert en boucle ouverte, en mettant en série la fonction de transfert ainsi recalée de la chaîne de puissance et la fonction de transfert dudit filtre ;
- d) on soustrait la fonction de transfert dudit filtre à ladite fonction de transfert en boucle ouverte ; et
- e) on élabore un correcteur en remplacement dudit filtre pour obtenir une fonction de transfert de correction qui est telle que le transfert global obtenu par la mise en série de cette dernière et de la fonction de transfert de la chaîne de puissance représente ladite loi de correction.

10 Plus précisément, à l'étape a) précitée :

- on élabore un modèle de simulation couplé du moteur 5 et de la chaîne cinématique 2. Ce modèle peut être similaire à celui préconisé dans la norme ARP 704. Le modèle du moteur est obtenu à partir de tables paramétriques issues d'essais du moteur 5 sur un banc d'essai. Le modèle de la chaîne cinématique 2 est obtenu à partir de valeurs calculées d'inertie et de raideur en torsion des arbres, ainsi que de paramètres dynamiques des rotors 3 et 4. Ce modèle couplé permet de calculer la première fonction de transfert  $HA = \frac{NTL_{filtrée}}{NTL_{cons}}$ , c'est-à-dire le rapport entre le régime de rotation filtré de la turbine libre et la valeur de consigne du régime de rotation de la turbine libre ;
- puis, on élabore une régulation usuelle permettant d'effectuer en sécurité les vols d'identification de la chaîne de puissance. Par modélisation, on établit des caractéristiques de régulation usuelle adaptées à l'appareil H. Précisément, on applique alors les principes de l'automatique en respectant, pour la fonction de transfert  $HA = \frac{NTL_{filtrée}}{NTL_{cons}}$  en boucle ouverte, les critères de marge de stabilité suivants :
- . 6dB de marge de gain ; et

45° de marge de phase.

Par ailleurs, le vol effectué à l'étape b) a pour but de recalibrer le modèle complet de la chaîne de puissance. Dans cette chaîne, deux éléments (le modèle moteur et le filtre) sont parfaitement connus. Seul le modèle de simulation de la chaîne cinématique 2 reste théorique et doit donc être recalibré par une mesure en vol des caractéristiques de la chaîne.

Ce vol n'engendre, dans la grande majorité des cas, aucun problème (en particulier de sécurité), puisque la mesure du régime NTL est filtrée de façon usuelle, la régulation fonctionnant en boucle fermée.

L'identification des caractéristiques de la chaîne cinématique s'effectue comme suit :

- pour une puissance donnée NG et un régime rotor donné NR, on injecte une excitation modulée sur la commande de pas collectif dans toute la plage de fréquences de la bande passante du doseur de carburant 7. On enregistre alors l'évolution du régime NTL ;
- cette identification est reproduire pour couvrir toute la plage de puissance NG et toute la plage de régime rotor NR (même si elle est faible) et avec au moins deux niveaux d'excitation différents afin d'identifier et de quantifier les défauts de linéarité.

On en déduit alors un transfert hélicoptère "régime NTL / pas collectif du rotor principal 3", ainsi que ses variations possibles. L'essai permet de la même façon de mesurer la fonction de transfert  $HA = \frac{NTL_{filtrée}}{NTL_{cons}}$  décrite précédemment et, en comparant cette mesure aux calculs théoriques, d'estimer la représentativité du modèle et de le corriger éventuellement. Cette comparaison calcul/mesure est effectuée à partir de la fonction de transfert  $HA = \frac{NTL_{filtrée}}{NTL_{cons}}$  en boucle fermée. Ceci permet de recalibrer précisément le modèle de simulation.

Concernant l'étape c) précitée du procédé conforme à l'invention, on notera que la méthode d'ouverture de la boucle NTL par calcul permet d'éviter de réaliser l'essai d'identification en configuration "doseur carburant 7 figé", ce qui pourrait poser d'importants problèmes de sécurité. On utilise le modèle recalé, pour lequel il est aisé de calculer la fonction de transfert  $\frac{NTL_{filtrée}}{NTL_{cons}}$  en boucle ouverte. L'ouverture de la boucle consiste à calculer le transfert résultant de la mise en série des deux fonctions de transfert (chaîne de puissance et filtre) alors qu'elles sont en parallèle quand la boucle est fermée.

A partir du modèle recalé de la chaîne cinématique obtenu à l'étape d), on élabore à l'étape e) un correcteur en remplacement du filtre. L'objectif du correcteur est de réaliser, à la fréquence (et au voisinage) au moins du premier mode de torsion de la chaîne cinématique 2, une correction en sortie de boucle NTL qui permet, lorsque l'on ferme la boucle, d'annuler l'excitation introduite sur l'entrée NTLcons. Pour obtenir ce résultat, il faut et il suffit que la valeur NTLcorr ait le même module et une phase opposée par rapport à l'excitation introduite en NTLcons, et ceci à la fréquence du premier mode de torsion, comme indiqué précédemment.

Le transfert global s'obtient par la mise en série des fonctions de transfert "chaîne de puissance" et "correcteur". Avec des règles de calcul usuelles, on détermine donc la fonction de transfert "correcteur" qui, mis en série avec la fonction de transfert "chaîne de puissance", donne un signal NTLcorrigée ayant un module égal à celui de NTLcons et une phase opposée. Le correcteur ainsi élaboré a pour effet, lorsque la boucle est fermée, d'annuler les perturbations dynamiques au moins à la fréquence du premier mode de torsion sur la chaîne cinématique 2.

Eventuellement, on réalise également sur ladite loi de correction une augmentation des gains.

Par ailleurs, un second vol, par exemple avec le correcteur (ainsi déterminé) qui est programmé dans le dispositif de correction 9, par exemple de type numérique (notamment un FADEC), permet de vérifier le bon comportement de la régulation et les améliorations attendues, à savoir :

5

- une stabilité très importante de la chaîne de torsion ;
- une dynamique basse fréquence dans les arbres en rotation quasiment supprimé ; et
- des reprises améliorées du ou des moteurs 5.

## REVENDEICATIONS

1. Système pour contrôler la stabilité en torsion de la chaîne cinématique (2) d'un appareil, en particulier d'un hélicoptère (H), ledit système (1) permettant de réguler le régime d'au moins un moteur (5) de ladite chaîne cinématique (2) et comportant au moins :

- un premier moyen (7) pour agir sur ledit régime, en fonction d'ordres de commande ;
- un deuxième moyen (8) pour mesurer un régime NTL correspondant au régime de rotation de la turbine libre dudit moteur (5) ;
- un dispositif de correction (9) pour corriger ledit régime mesuré NTL en une valeur corrigée NTLcorr ;
- un troisième moyen (11) pour déterminer une valeur de consigne NTLcons correspondant à la valeur de consigne du régime de rotation de la turbine libre du moteur (5) ; et
- une unité de calcul (12) pour calculer automatiquement, à partir de ladite valeur de consigne NTLcons et de ladite valeur corrigée NTLcorr, des ordres de commande qui sont appliqués automatiquement audit premier moyen (7),

caractérisé en ce que ledit dispositif de correction (9) met en œuvre une loi de correction qui corrige ledit régime mesuré NTL pour obtenir une valeur corrigée NTLcorr présentant, au moins dans un domaine de fréquences situé autour au moins du premier mode de torsion de ladite chaîne cinématique (2), le même module que ladite valeur de consigne NTLcons et une phase qui est opposée à la phase de ladite valeur de consigne NTLcons de manière à amortir au moins ledit premier mode de torsion de la chaîne cinématique (2).

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit dispositif de correction (9) corrige ledit régime mesuré NTL pour obtenir une valeur corrigée NTLcorr qui présente le

même module que ladite valeur de consigne NTLcons et une phase qui est opposée à la phase de ladite valeur de consigne NTLcons, dans des domaines de fréquences situés autour d'un nombre  $\underline{n}$  de modes de torsion de ladite chaîne cinématique (2),  $\underline{n}$  étant un entier supérieur à 1.

5           3. Système selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ladite unité de calcul (12) et ledit dispositif de correction (9) sont incorporés dans un seul et même calculateur de type numérique.

10           4. Système selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ledit dispositif de correction (9) est un calculateur indépendant.

            5. Système selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ledit dispositif de correction (9) est un moyen au moins partiellement mécanique.

15           6. Procédé pour déterminer la loi de correction mise en œuvre par le dispositif de correction (9) du système (1) spécifié sous l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'on réalise successivement les opérations suivantes :

20           a) on élabore théoriquement un modèle de simulation de la chaîne de puissance comportant la chaîne cinématique (2) et au moins un moteur (5) de l'appareil (H), permettant de calculer une première fonction de transfert entre le régime de rotation de la turbine libre, qui est filtré à l'aide d'un filtre prédéterminé, et ladite valeur de consigne NTLcons ;

25           b) on réalise un fonctionnement de la chaîne de puissance, pendant lequel on mesure des paramètres permettant de recalibrer ladite première fonction de transfert ;

- c) on détermine une fonction de transfert en boucle ouverte, en mettant en série la fonction de transfert ainsi recalée de la chaîne de puissance et la fonction de transfert dudit filtre ;
- d) on soustrait la fonction de transfert dudit filtre à ladite fonction de transfert en boucle ouverte ; et
- e) on élabore un correcteur en remplacement dudit filtre, pour obtenir une fonction de transfert de correction qui est telle que le transfert global obtenu par la mise en série de cette dernière et de la fonction de transfert de la chaîne de puissance représente ladite loi de correction.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'on réalise sur ladite loi de correction une augmentation des gains.



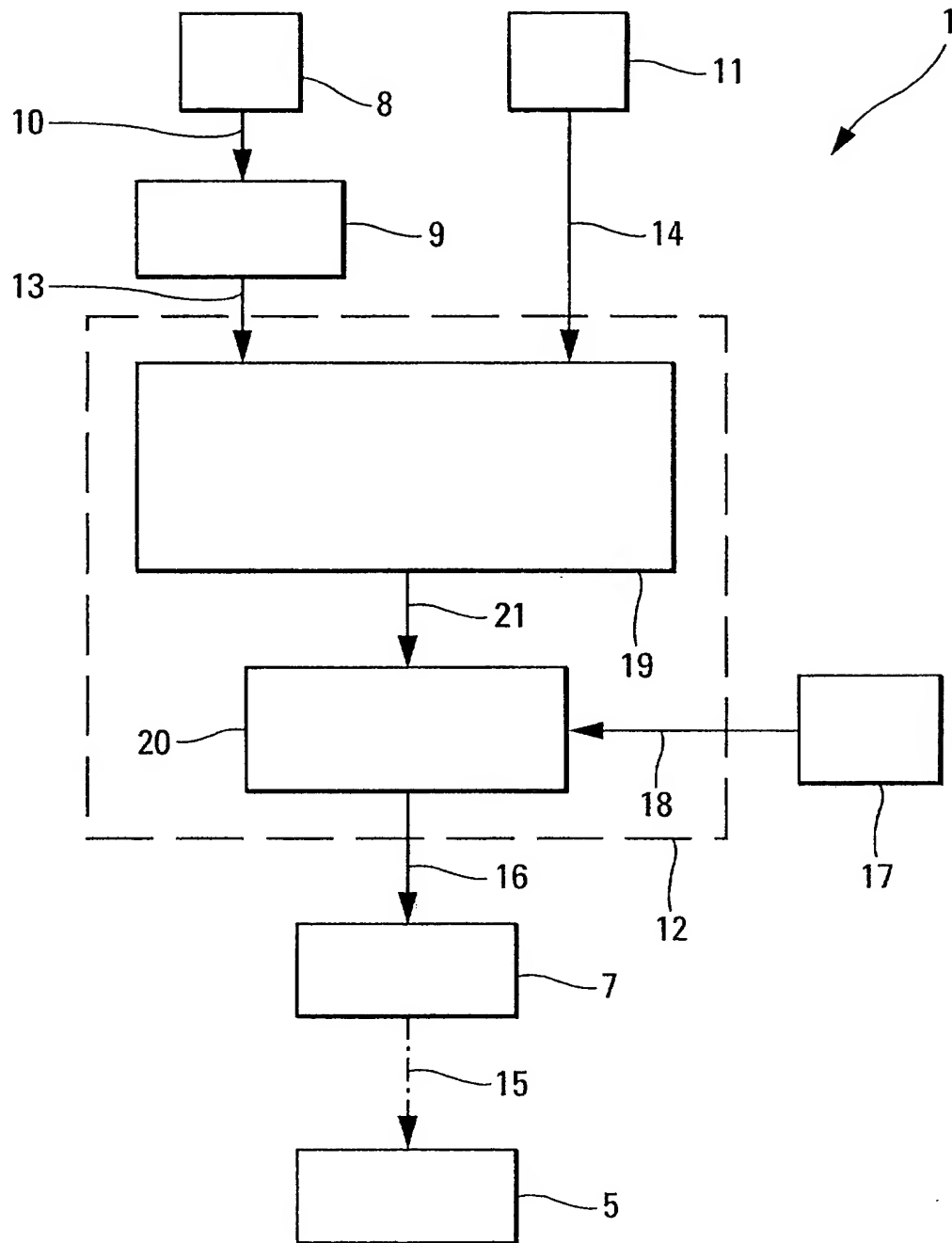


Fig. 1

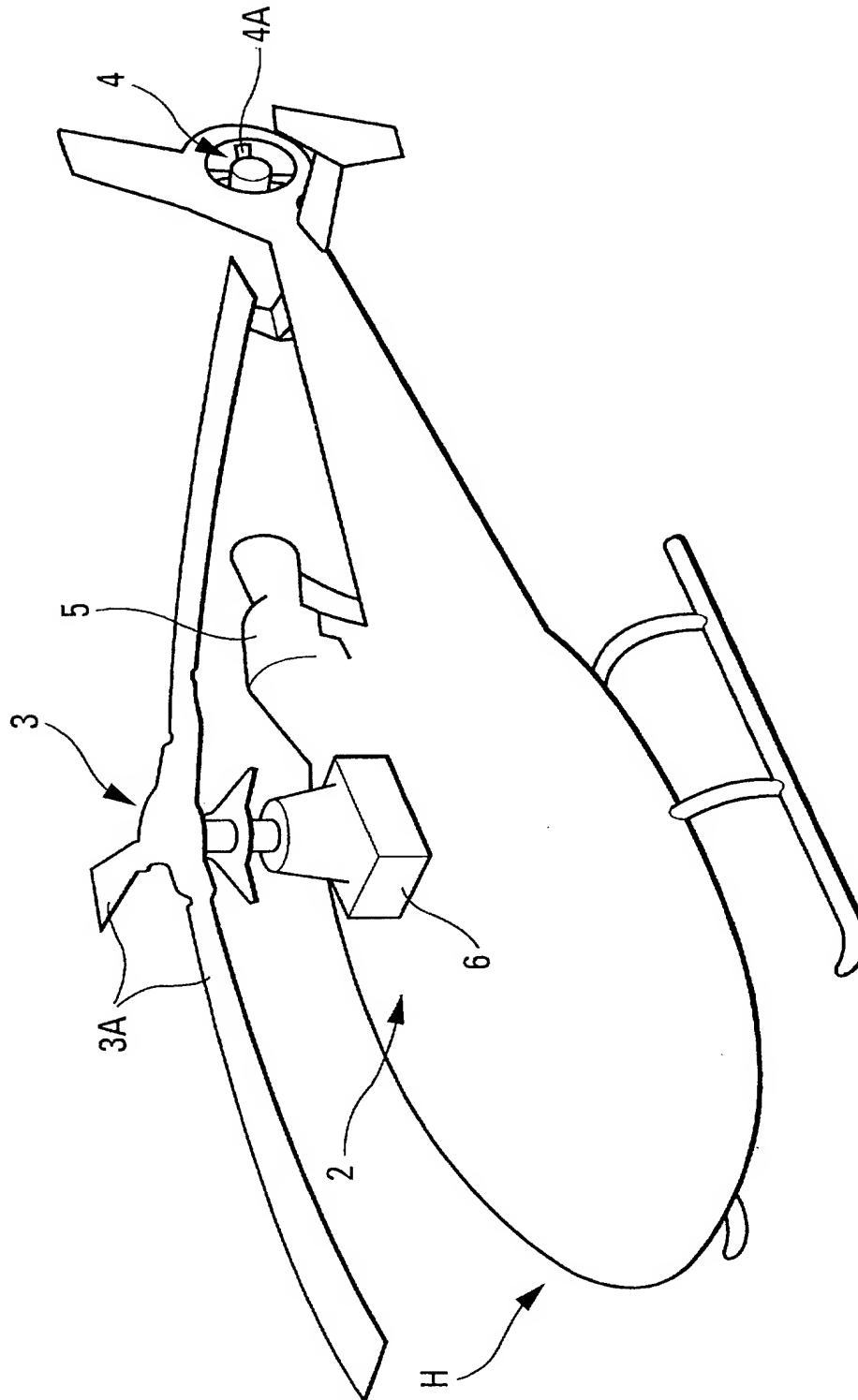


Fig. 2



# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

  
N° 11235\*02

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.. / 1..

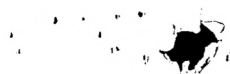
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif)		EU-109	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		0210563	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)			
Système pour contrôler la stabilité en torsion de la chaîne cinématique d'un appareil, en particulier d'un hélicoptère.			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>			
EUROCOPTER			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		ALMERAS	
Prénoms		Philippe	
Adresse	Rue	Lotissement "Les Jardins"	
	Code postal et ville	13300	SALON-DE-PROVENCE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)			
le 26 août 2002 MANDATAIRE "CPI brevet" : Bernard HAUER 98-0504 (B)		B. Hauer	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.



200

200